

Лекция - 5. Жұқа қабыршақ (ұлпалардағы) интерференция. Бірдей қалыңдықтағы жолақтар. Интерференция құбылысының өндірісте қолдануы.

Лекцияның мақсаты: Жұқа қабыршақтардағы (пленкалардағы) интерференция құбылысының физикалық мәнін, Ньютон сақиналары мен интерференциялық жолақтардың пайда болу шарттарын, сондай-ақ интерференция құбылысының тәжірибелік және өндірістік қолданылуын түсіндіру.

Негізгі сұрақтар

1. Жұқа қабыршақтардағы интерференция және оның себептері.
2. Бірдей қалыңдық жолақтары және Ньютон сақиналары.
3. Бірдей көлбеулік жолақтары және олардың түзілу механизмі.
4. Интерференциялық аспаптар мен интерферометрлердің түрлері мен қолданылуы.

Қысқаша мазмұны

1. Жұқа қабыршақ интерференциясының табиғаты

Жұқа қабыршақ — қалыңдығы бірнеше нанометрден бірнеше микрометрге дейінгі мөлдір қабат.

Қабыршаққа жарық түскенде сәуле екі беттен шағылып, бір-бірімен қабаттасады.

Осы екі сәуленің фазалық айырымы интерференциялық максимум немесе минимум туғызады.

Екі негізгі сәуле:

Жоғарғы беттен шағылған сәуле

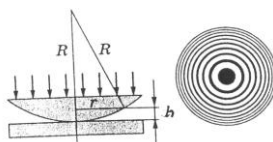
Төменгі беттен шағылып, қабыршақ ішінен өткен сәуле

Бұл екі сәуленің фазалық байланысы интерференцияны анықтайды.

Бірдей қалыңдық жолақтары

Егер жұқа пластинканың беттері бір-біріне параллель болмаса, онда бұларды аумақты жарық көзімен жарықтандырған кезде тұрақты оптикалық қалыңдық жолақтары, немесе бірдей қалыңдық жолақтары пайда болады.

Бірдей қалыңдық жолақтарын қалқаға (экранға) пластина бетінің кескіні проекцияланған жағдайда бақылауға болады.



2-сурет

Егер пластинка сына пішіндес болса, онда бірдей қалыңдық жолақтар сына қырына параллель интерференциялық жолақтар қатары түрінде болады. Пленканың осындай пішінін тік орналастырылған сым шеңберге керілген сабын пленкасы (қабыршығы) көмегімен алуға болады. Ауырлық күші әсерінен пленка сына пішінін қабылдайды, ал бірдей қалыңдық жолақтары пленка бетінде горизонталь түзулер түрінде көрінеді, бұлар пленка ақауларынан ішінара түзуден ауытқуы мүмкін.

Жазық-дөңес линза мен жазық шыны пластинка арасындағы ауа қабатында пайда болатын бірдей қалыңдық жолақтарының мысалына **Ньютон сақиналары** жатады. Ньютон заманында сақиналардың пайда болуын түсіндіру өте қиын болды. Мәселен, Гук сақиналардың түзілу себебін интенсивтігі әртүрлі шағылған екі шоқтың болуынан көрді, ал Ньютон сақиналардың пайда болуы линзаның қисықтық радиусына тәуелді болатындығын тағайындады. Тек кейіннен (1802 ж) Юнг интерференция ұғымын енгізіп, осы құбылысты түсіндірді.

Ньютон сақиналары қисықтығы аз линзаның дөңес беті шыны пластинаның жазық бетімен қайсыбір нүктеде түйіскен жағдайда, бұлардың араларындағы түйісу нүктесінен шеттеріне қарай біртіндеп өсетін, сына пішіндес ауа қабатында пайда болады (2-сурет). Линзаға монохроматты жарық ағыны тік түсетін болсын. Сонда жарық толқындарының ауа қабатының үстіңгі және астыңғы шекараларынан шағылуы нәтижесінде интерференция байқалады. Шағылған жарықта бақылағанда түйісу нүктесінде қараңғы дақ болады да, ал оны ені кеміп отыратын жарық және қараңғы концентрлік сақиналар жүйесі қоршап тұрады. Орталық қараңғы дақ геометриялық жүріс айырымы нөлге тең болатындықтан және жазық шыны пластина бетінен шағылған кезде жарты толқынның жоғалуы нәтижесінде пайда болады. Өткен жарықтағы интерференциялық көрініс шағылған жарықта байқалатын көрініске қосымша көрініс, яғни бір жағдайдағы жарық жолақтар екінші жағдайда қараңғыға ауысады. 2-суреттен тиісті сақина радиусы үшін өрнекті алуға болады.

Ауа қабатының m -і сақинаға сәйкес келетін h_m қалыңдығы осы сақинаның r_m радиусы және линзаның R қисықтық радиусымен мына қатынаспен байланысқан

$$h_m = \frac{r_m^2}{2R} \quad (1)$$

$\Delta = 2nh \cos \beta + \frac{\lambda}{2}$ формуладағы $\cos \beta = 1$ (жарық тік түседі) және $n = 1$ (линза мен пластинка арасында ауа) деп алып, m -і қараңғы сақинаның түзілу шартын табамыз

$$\Delta_m = 2h_m + \frac{\lambda}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (2)$$

(2) формулаға (1)-дегі h_m мәнін қойып, сақина (шеңбер) радиусы үшін өрнекті аламыз:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R} \quad (3)$$

(3) формуладан $m = 0$ және $r_m = 0$ болғанда, яғни центрде, қараңғы дақ болатындығы келіп шығады. Бұдан кейін интерференция реті неғұрлым үлкен болса, көрші сақиналардың радиустары арасындағы айырмашылық соншалықты аз болады, яғни сақиналар жиірек орналасатын болады. m және R белгілі болса, r_m -ді өлшеп, толқын ұзындықты жеткілікті дәл анықтауға болады.

Егер түсетін жарық монохроматты болмаса, онда шағылған жарықта әртүрлі толқын ұзындықтарына әртүрлі r_m сәйкес келеді де экранда түрлі-түсті сақиналар жүйесі байқалатын болады. Өткен жарықта, әрине, шағылған жарықтағы түске қосымша түстер көрінетін болады.

Интерференциялық аспаптар

Интерферометрлер - жарықтың интерференция құбылысы мөлдір орталардың сыну көрсеткіштерін, спектрлік сызықтардың толқын ұзындықтарын, бұрыштарды және т.т. дәл өлшеулер үшін қолданылатын оптикалық құрылғылар, яғни интерферометрлер электромагниттік сәуленің негізгі сипаттамаларын зерттеу үшін пайдаланылады. Сондықтан интерферометрдің оптикалық схемасы кейбір қосымша талаптарды қанағаттандыруы тиіс. Мәселен, өлшеу дәлдігін арттыру үшін жүріс айырымын едәуір өсіру керек болады, яғни интерференцияның жоғары реттері жағдайында жұмыс істеуге тура келеді. Осындай жағдайларда сәуленің жоғары монохроматтығы және оптикалық жүйенің юстировкасына аса жоғары талаптар қажет.

Барлық белгілі интерференциялық аспаптарды негізінен екі топқа бөлуге болады: екі сәулелік және көп сәулелік.

Бақылау сұрақтары

1. Жұқа қабыршақтардағы интерференция неліктен пайда болады?
2. Жол айырымының формуласын жазыңыз және оның физикалық мағынасын түсіндіріңіз.
3. Ньютон сақиналары қалай түзіледі?
4. Бірдей қалыңдық және бірдей көлбеулік жолақтарының айырмашылығы неде?
5. Интерференциялық аспаптардың негізгі түрлерін атаңыз және олардың қолданылу саласын сипаттаңыз.

Ұсынылатын әдебиеттер:

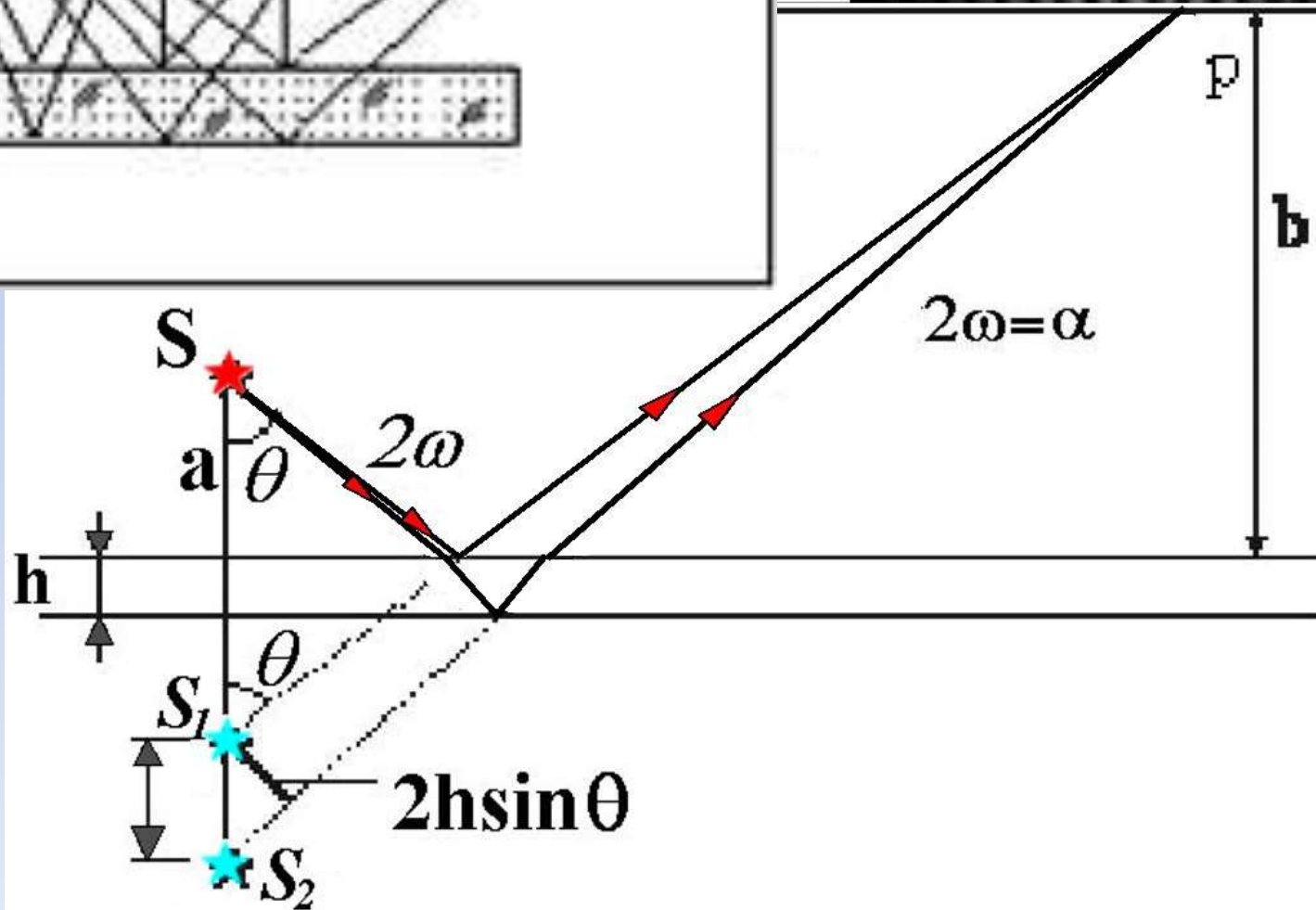
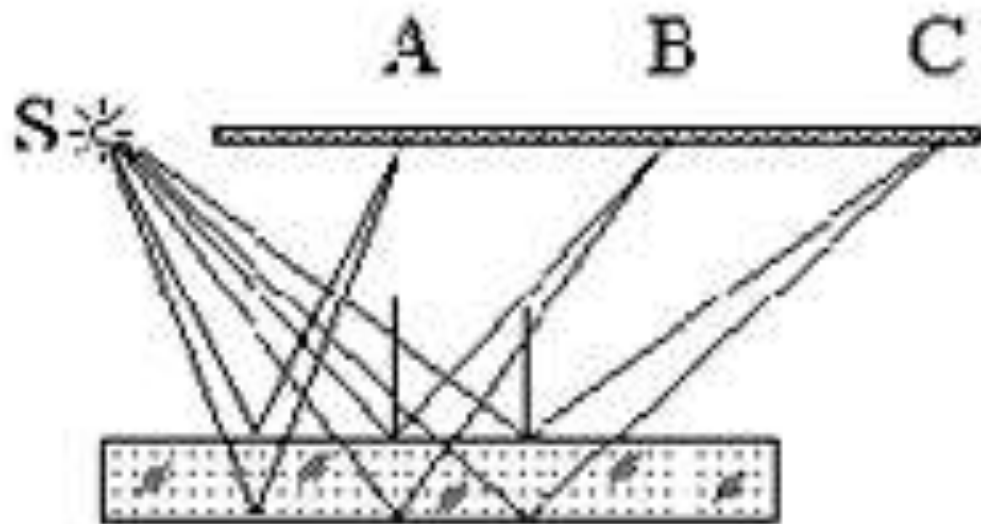
- Сивухин Д.В. 3-е изд., стереот. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2021, 792 с.
- Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3-х т.: Учебное пособие для студ. вузов/ И.В. Савельев.- 10-е изд., стер.- СПб: Лань. - (Учебники для вузов. Специальная литература) Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика, 2020, 496с.
- Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. Издательство "Лаборатория знаний", 8-ое издание, 2020, 266 стр.
- Иродов И.Е. Задачи по общей физике, 13-е изд. — М.: Лаборатория знаний, 2020, 431 стр.
- Жұманов К.Б. Оптика негіздері, Алматы: Қазақ университеті, 2020, 321 бет.

Аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Физикалық техникалық факультеті

ЖАРЫҚТЫҢ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ

**Жұқа қабыршақ (ұлпалардағы) интерференция.
Бірдей қалыңдықтағы жолақтар. Интерференция
құбылысының өндірісте қолдануы.**

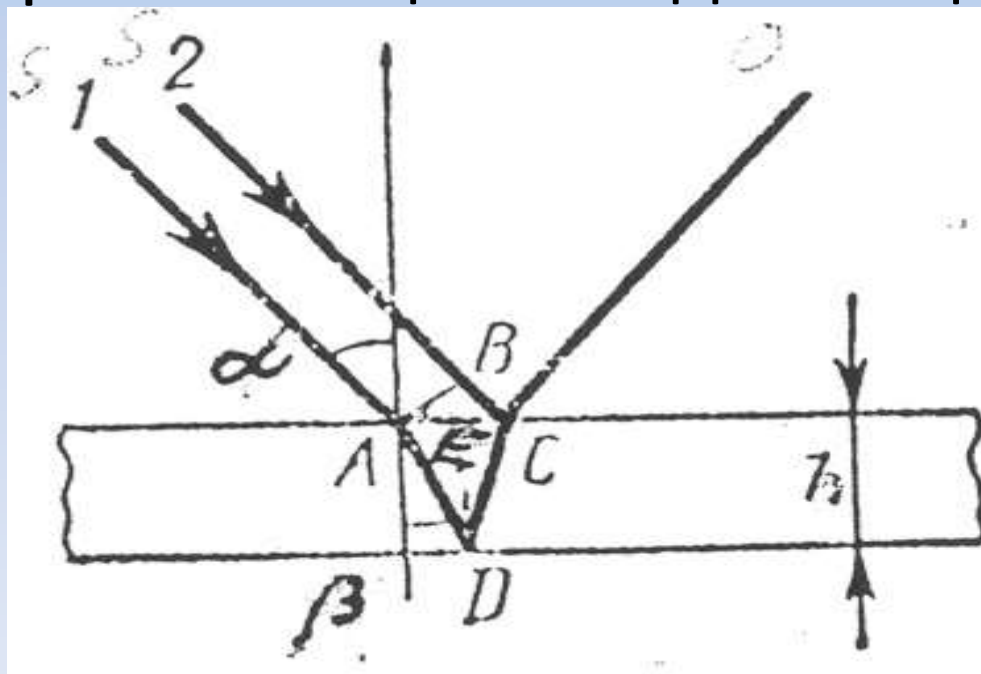
Мархабаева А.А.



Лекция 5. Жұқа қабыршақ (ұлпалардағы) интерференция. Бірдей қалыңдықтағы жолақтар. Интерференция құбылысының өндірісте қолдануы.

Жұқа қабыршақ (ұлпалардағы) интерференция сабын көпіршіктерінде, су бетіне жайылған мұнай пленкаларында оларды Күн сәулесімен жарықтандырғанда байқауға болады. Осы құбылысты қарастыру интерферометрлерде, интерференциялық сүзгілерде (фильтрлерде) және басқа оптикалық құрылғыларда өтетін күрделірек процестерді түсінуге пайдасын тигізеді.

Жазық беттері параллель, қалыңдығы h мөлдір пластинаға толқын ұзындығы λ монохромат жарық түсетін болсын. Бұл **жарық** пластинка бетінен **жарым-жартылай** шағылады, **жарым-жартылай** оның ішіне енеді де екінші бетінен тағы **шағылады**. Нәтижесінде қайсыбір жүріс айырымы бар екі когерентті толқын пайда болады.



Суреттен

$$AD = \frac{h}{\cos \beta}; BC = AC \sin \alpha = 2AE \sin \alpha = 2h \operatorname{tg} \beta \sin \alpha$$

мұндағы $h = ED$ пластинка қалыңдығы;

α -түсу бұрышы. Осыдан жол айырымы

$$\Delta = \frac{2nh}{\cos \beta} - 2n'h \operatorname{tg} \beta \sin \alpha$$

$n' \sin \alpha = n \sin \beta$ сыну заңын қолданамыз, сонда

$$\Delta = \frac{2nh}{\cos \beta} (1 - \sin^2 \beta) = 2nh \cos \beta \quad (1)$$

Сондықтан жалпы жағдайда (1) формуланы мына түрде жазуға болады

$$\Delta = 2nh \cos \beta + \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

(2)-ге сәйкес интерференциялық көрініс (1) формула бойынша есептеумен салыстырғанда жарты жолаққа ығысқан болады. (2) формулаға $\frac{\lambda}{2}$ мүшенің қосылуы жұқа пластинканың әрекеті жайындағы пайымдауларға принциптік ештеңе енгізбейді. Сондықтан біз көбінесе қосымша мүшені жазбай, (1) формуланы пайдаланатын боламыз. Бірақта максимумдар мен минимумдар орындарын анықтаған кезде әрқашан шағылу жағдайына байланысты қосымша фазалар айырымының пайда болу мүмкіндігін ескеру керек болады.

Жұқа пластинкадан шағылғанда
интерференциялық көрініс мына
шарт орындалғанда

$$2nh \cos \beta = m \lambda / 2 \quad (3)$$

пайда болады, мұндағы m - бүтін
сан, және жұп мәндері
максимумдарға, тақ мәндері
минимумдарға сәйкес келеді.

$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m}$ қатынасынан ақ жарықтың интерференциялық көрінісін тек жұқа пленкаларда бақылау мүмкін болатындығы шығады. Адам көзі $\Delta\lambda \approx 10\text{ нм}$ интервалмен бөлінген түстерді ажырата алады. Ақ жарықтың орташа толқын ұзындығын 500 нм деп алып, интерференцияның мүмкін болатын реті $m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 50$ болатындығын табамыз. $m = 50$ мәні пленка қалыңдығына тәуелді $\Delta = m\lambda$ жол айырымының мүмкін болатын мәнін анықтайды.

(1) қатынасынан интерференция максимумы үшін пленканың қалыңдығы мынаған тең болады:

$$h = \frac{m\lambda}{2n \cos \beta} \quad (4)$$

$n \approx 1,5$ және $\cos \beta \approx 1$ (жарықтың тік түсуі) деп алсақ

$$h = \frac{50 \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 1,5} \approx 8 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 8 \text{ мкм}$$

болатындығы

шығады.

$$\Delta = (AB + BC) \cdot n - AD + \frac{\lambda}{2} = \boxed{2dn \cdot \cos \beta + \frac{\lambda}{2}}$$

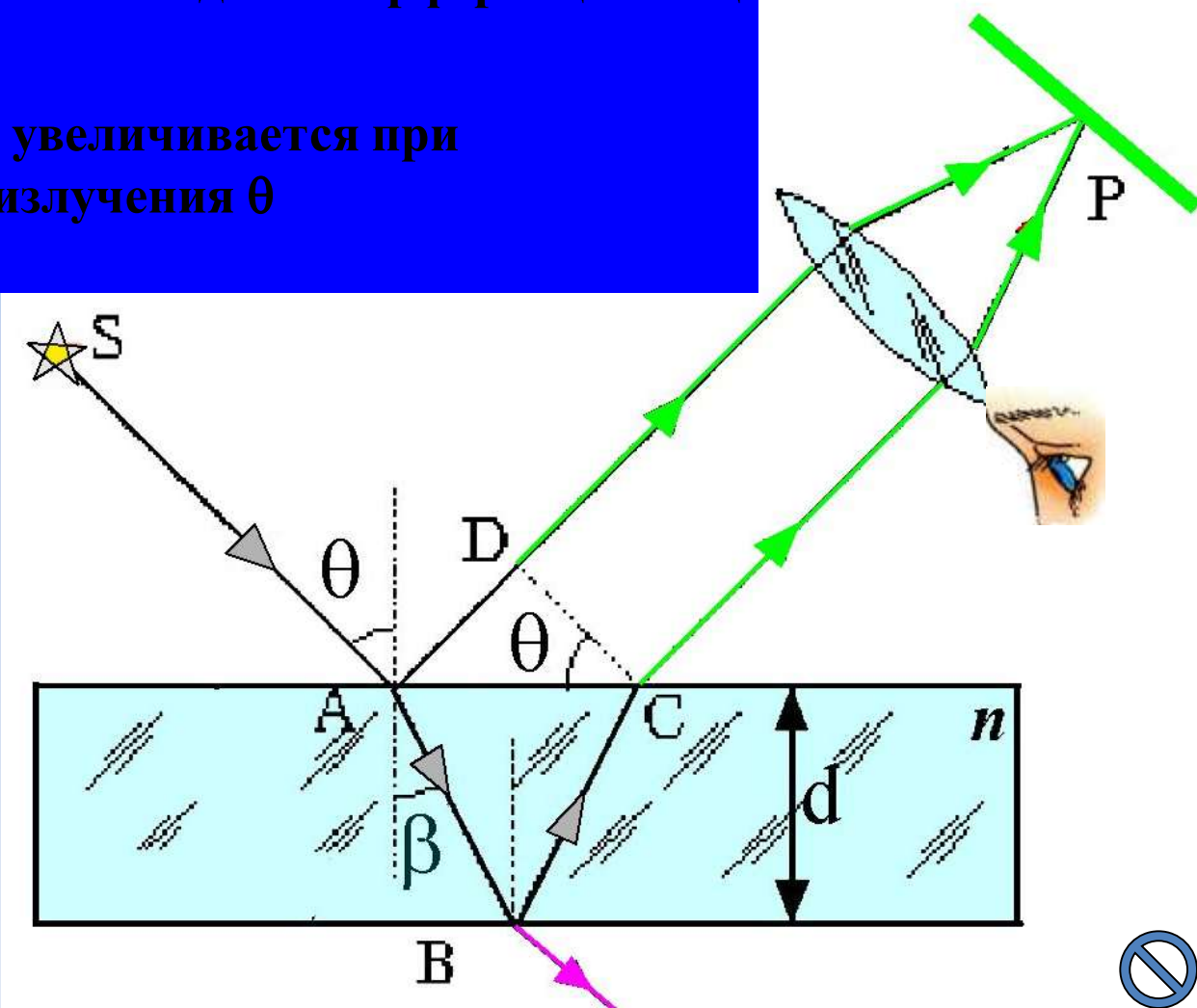
$$2m \frac{\lambda}{2} \quad - \text{max}$$

$$(2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad - \text{min}$$

(6)

Сәуленің түсу бұрышы θ азайғанда интерференцияның реттілігі m көбейеді

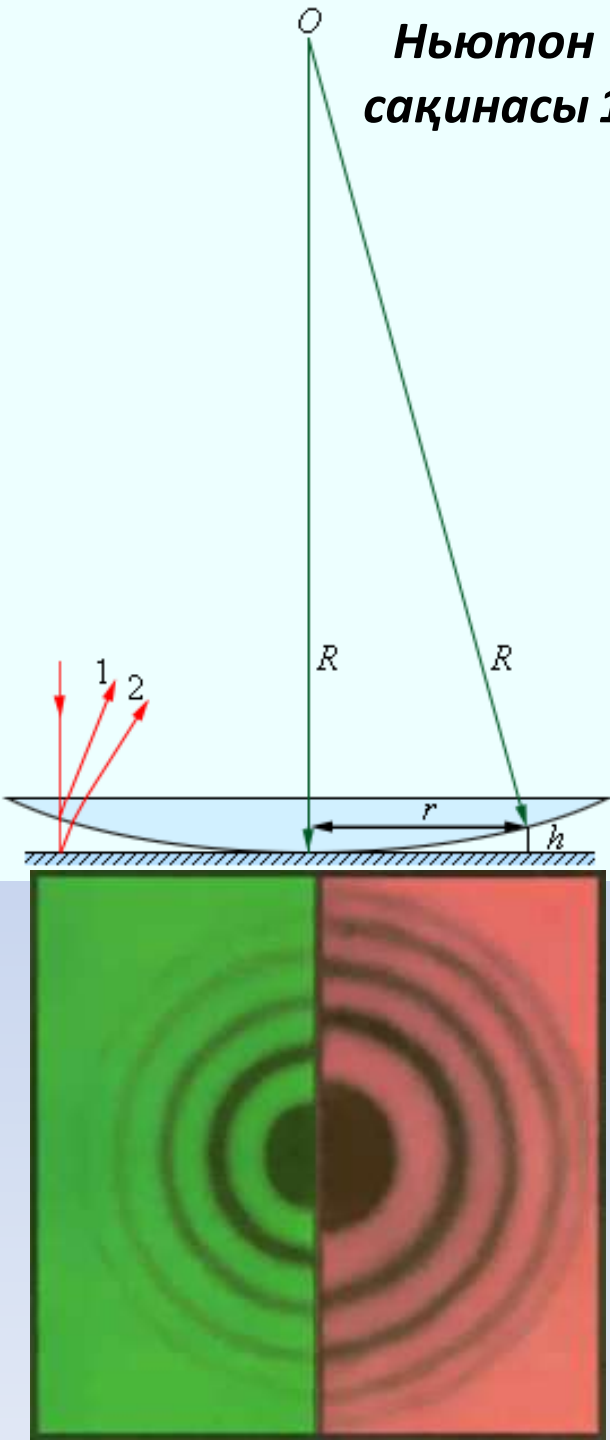
Порядок m интерференции увеличивается при уменьшении угла падения излучения θ



Бірдей қалыңдық жолақтары
Егер жұқа пластинканың беттері бір-біріне параллель болмаса, онда бұларды аумақты жарық көзімен жарықтандырған кезде тұрақты оптикалық қалыңдық жолақтары, немесе бірдей қалыңдық жолақтары пайда болады. Бірдей қалыңдық жолақтарын қалқаға (экранға) пластина бетінің кескіні проекцияланған жағдайда бақылауға болады.

Жазық-дөңес линза мен жазық шыны пластинка арасындағы ауа қабатында пайда болатын бірдей қалыңдық жолақтарының мысалына **Ньютон сақиналары** жатады. Ньютон заманында сақиналардың пайда болуын түсіндіру өте қиын болды. Ньютон сақиналардың пайда болуы линзаның қисықтық радиусына тәуелді болатындығын тағайындады. Тек кейіннен (1802 ж) Юнг интерференция ұғымын енгізіп, осы құбылысты түсіндірді.

Ньютон сақинасы 1



Ауалы қабаттың екі шегінен шағылған толқындарды қосқанда интерференция пайда болады. «Сәулелер» 1 және 2 – толқындардың таралу бағыты; h – ауалы саңылаудың ені. Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон воздушной прослойки. «Лучи» 1 и 2 – направления распространения волн; h – толщина воздушного зазора.



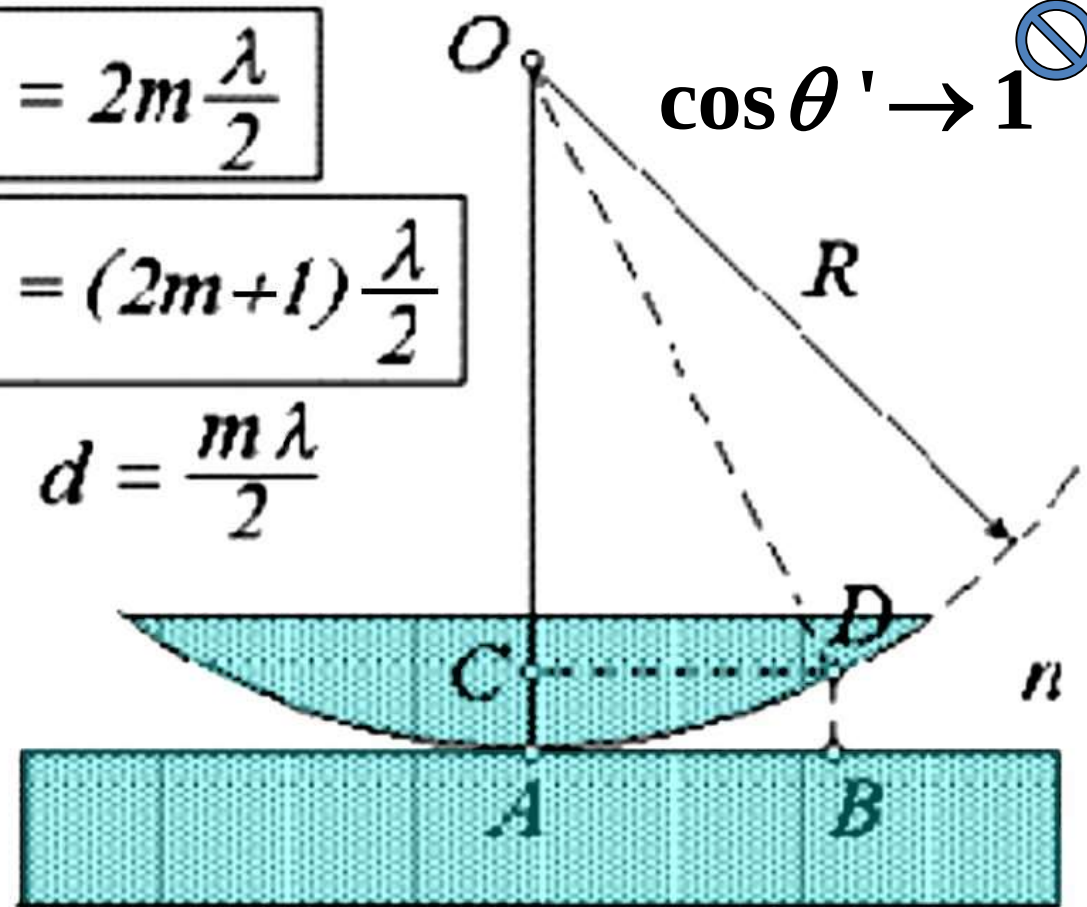
Ньютон
сақинасы
3

$$\max \quad 2dn + \frac{\lambda}{2} = 2m \frac{\lambda}{2}$$

$$\min \quad 2dn + \frac{\lambda}{2} = (2m+1) \frac{\lambda}{2}$$

→ при $n=1$ $d = \frac{m\lambda}{2}$

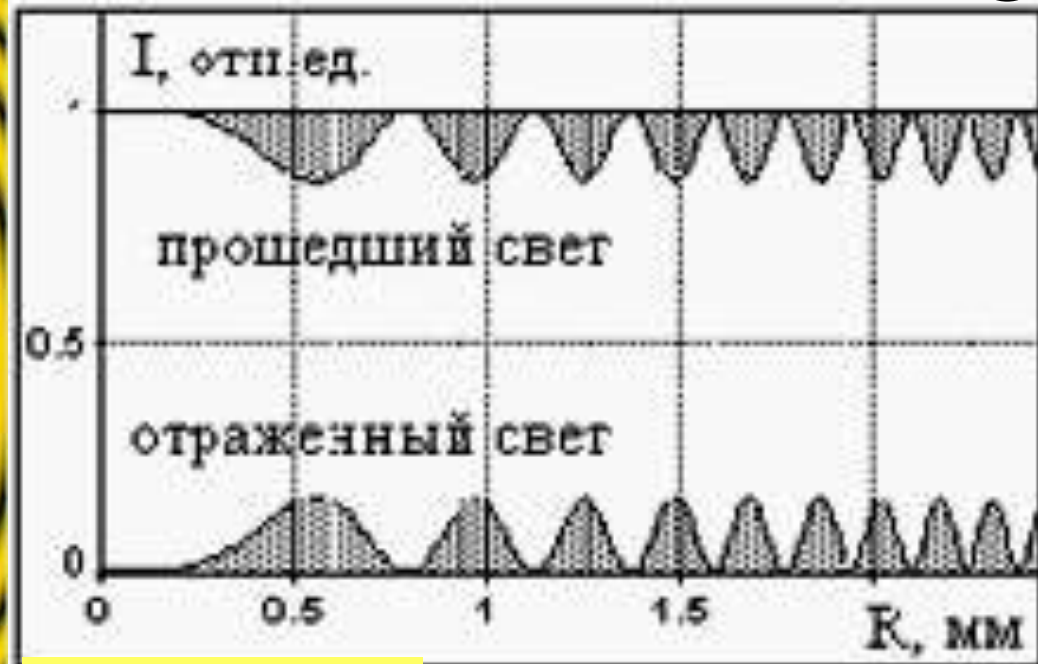
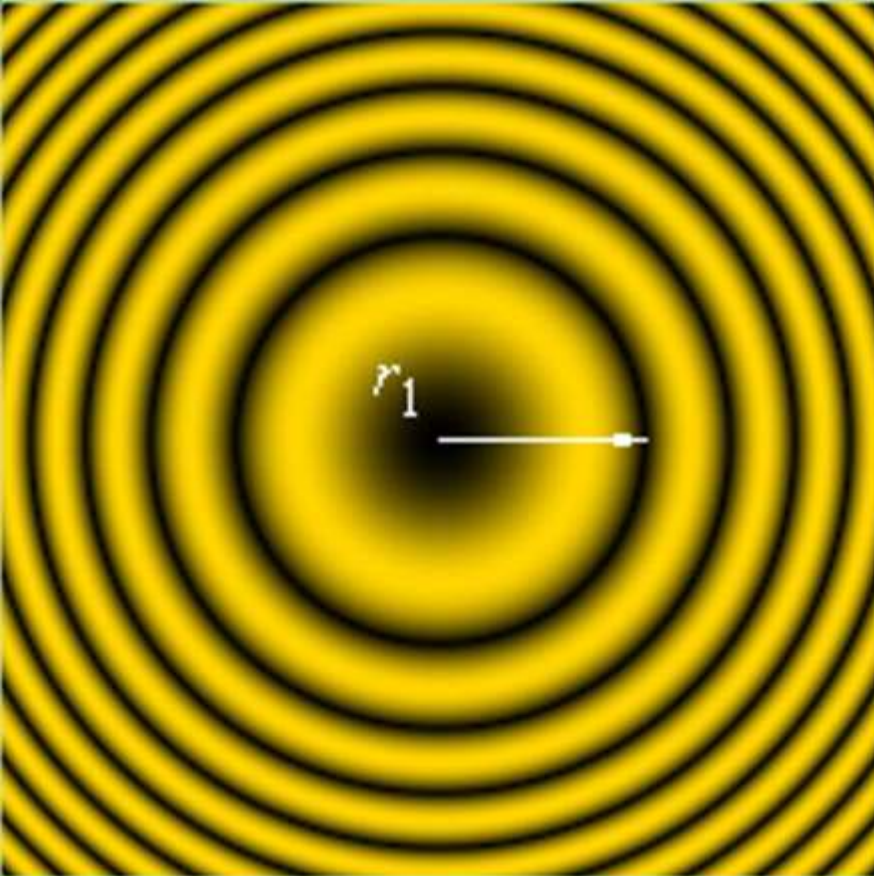
$$\begin{aligned} OA &= OD = R \\ CA &= DB = d \\ AB &= CD = r \end{aligned}$$



$$R^2 = r_m^2 + \left(R - \frac{m\lambda}{2}\right)^2 \quad r_m^2 = Rm\lambda - \frac{m^2\lambda^2}{4}$$

тогда, для тёмных колец
 $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$r_m = \sqrt{Rm\lambda}$$



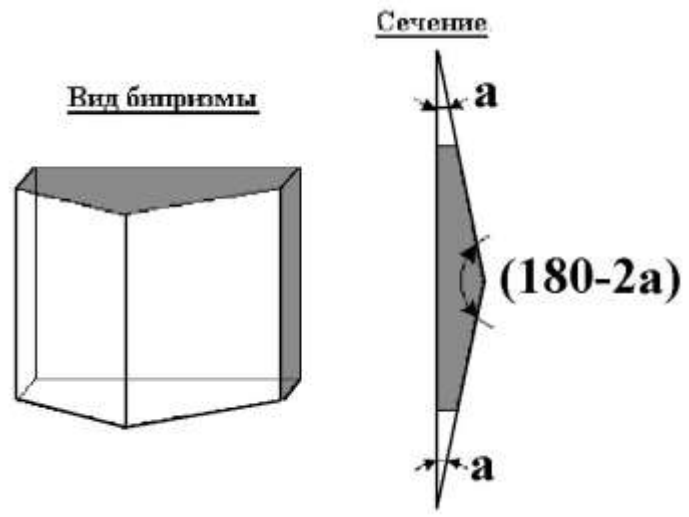
$$r_m = \sqrt{Rm\lambda}$$

Яғни бұл бірдей қалыңдықты жолақтардың дербес жағдайы – сфералық линза және жазықтық арасындағы ауалы саңылауда пайда болады. Оларды шағылатын жарықта бақылаған жақсырақ, сонда бейне центрінде фазалық секіріс әсерінен (ауала саңылау үшін секірістің екінші шегінен $=\pi$) шағылғанда қара дақ пайда болады, $m=0$ центрінде. Шағылған және өткен жарық сақиналарының бейнесі қосымша болып келеді, яғни саңылаудың кез-келген нүктесінде олардың интенсивтіліктерінің қосындысы тұрақты және түсетін жазық толқынның интенсивтілігіне тең.

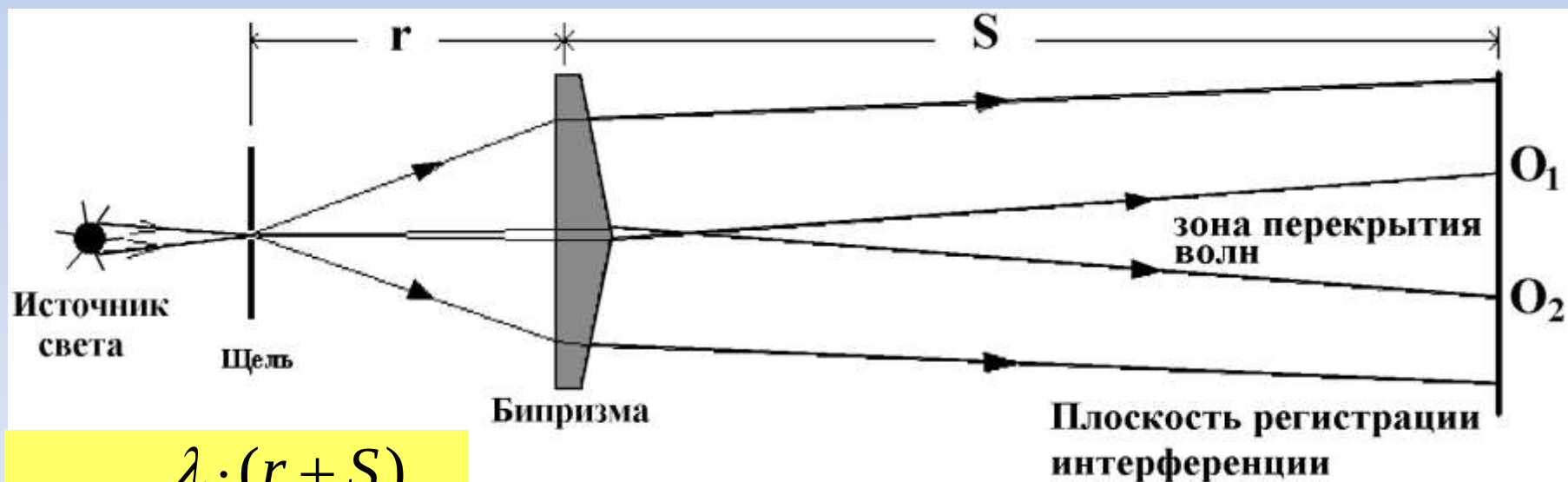
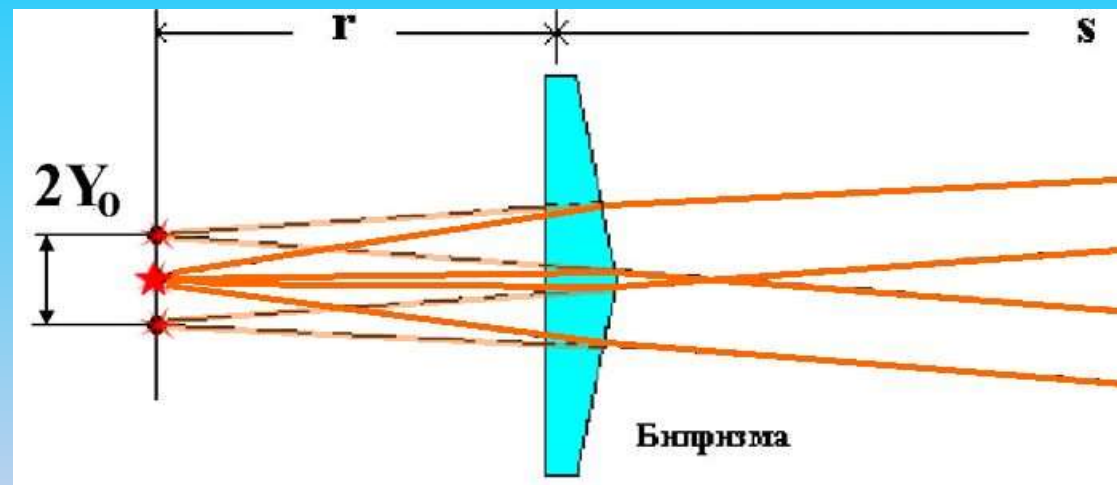
Т.е. это частный случай полос равной толщины - образующихся в воздушном зазоре между сферической линзой и плоскостью. Их лучше наблюдать в отраженном свете, при этом в центре картины за счет фазового скачка (для воздушного зазора от второй границы скачок фаз $=\pi$) при отражении образуется темное пятно, в центре $m=0$. Картины колец в отраженном и прошедшем свете являются дополнительными, т.е. в любой точке зазора сумма их интенсивностей постоянна и равна интенсивности падающей плоской волны.



Опыт Френеля



$$2 \cdot Y_0 = 2 \cdot a \cdot (n-1) \cdot r$$



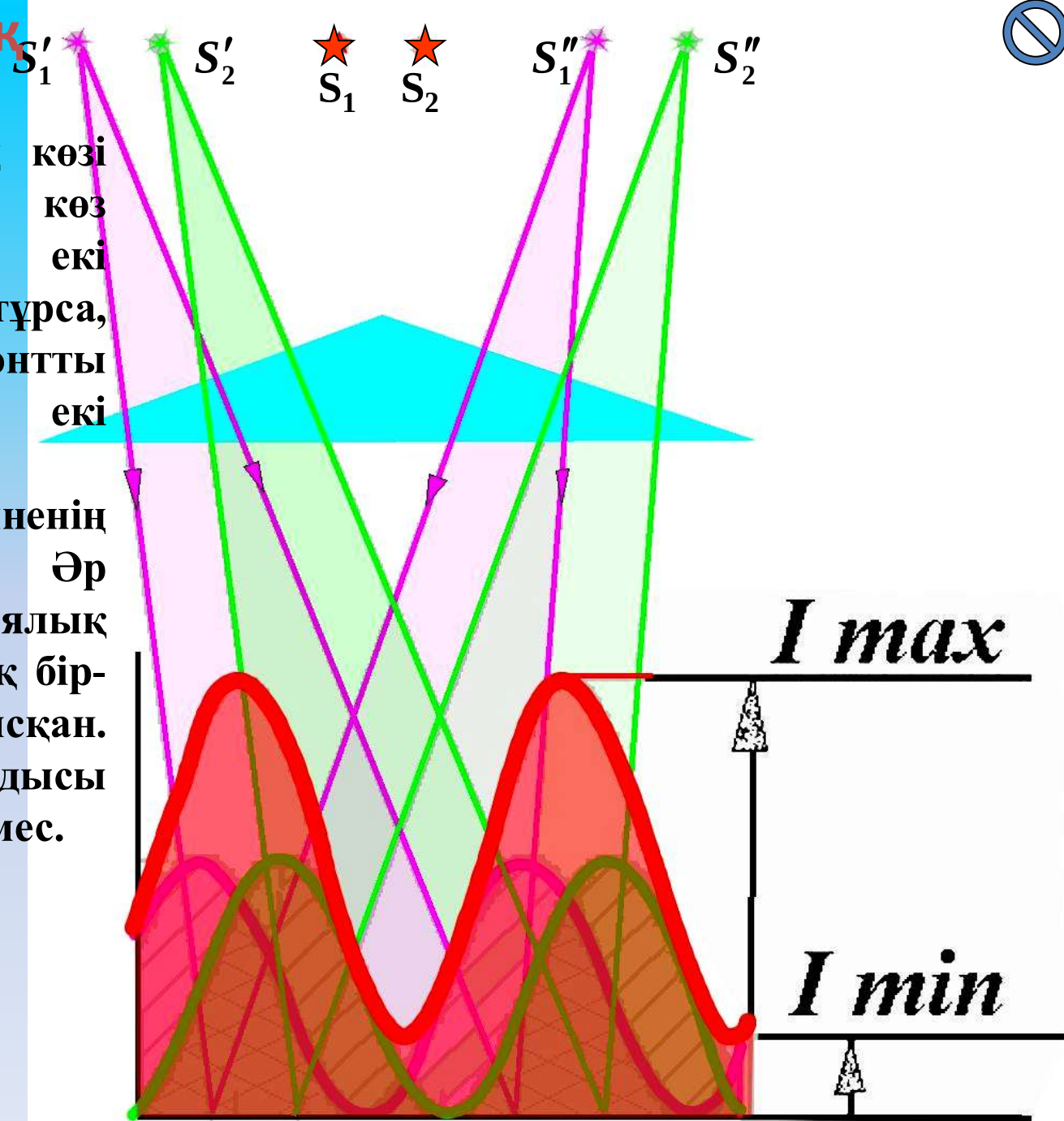
$$d = \frac{\lambda \cdot (r + S)}{2 \cdot a \cdot (n-1) \cdot r}$$

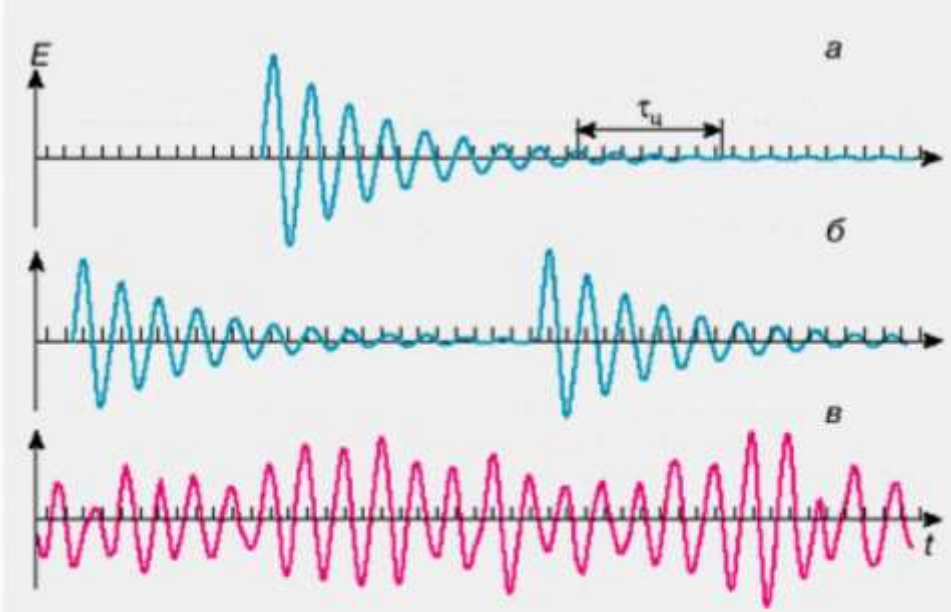


Бір інтерференційлык жолақтың ені
ширина одной интерференционной полосы

Екі жақын жарық көзі

Когерентті толқынның көзі болып созылыңқы алынатын болса, ол екі жарқырайтын көзден тұрса, онда толқындық фронтты бөлу әдісі арқылы екі интерференцияланушы толқынды алғанда, бейненің көрінуі нашарлайды. Әр нүкте өз интерференциялық бейнесін жасайды, бірақ бір-біріне қатысты ығысқан. Тербелістің қосындысы 100% модуляцияға ие емес.





Волновые цуги, испускаемые отдельными атомами (а и б), и колебания в произвольно выбранной точке пространства поля E частично когерентной волны (в). $\tau_{ц}$ – длительность отдельного цуга

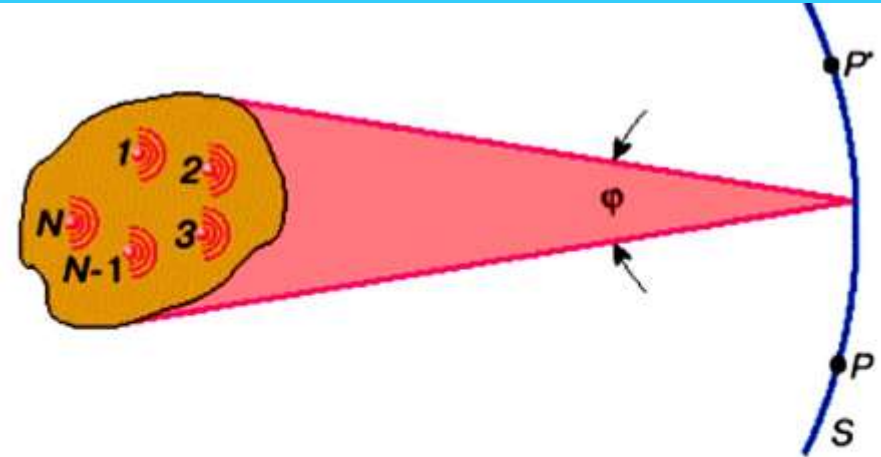


Иллюстрация светящегося тела, состоящего из N элементарных излучателей

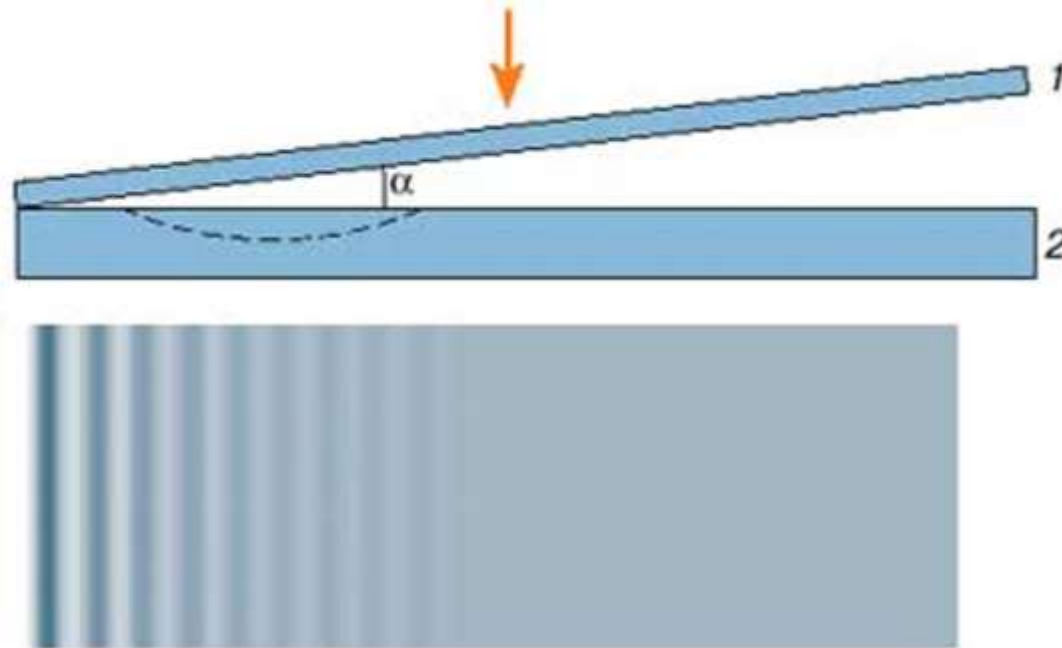
$$I_{\Sigma} = (I_1 + I_2) + \gamma \cdot 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos \delta$$

Екі толқынның когеренттілік дәрежесін γ екі толқынның қосындысындағы когеренттілік сәулеленудің бөлігі деп айтуға болады.

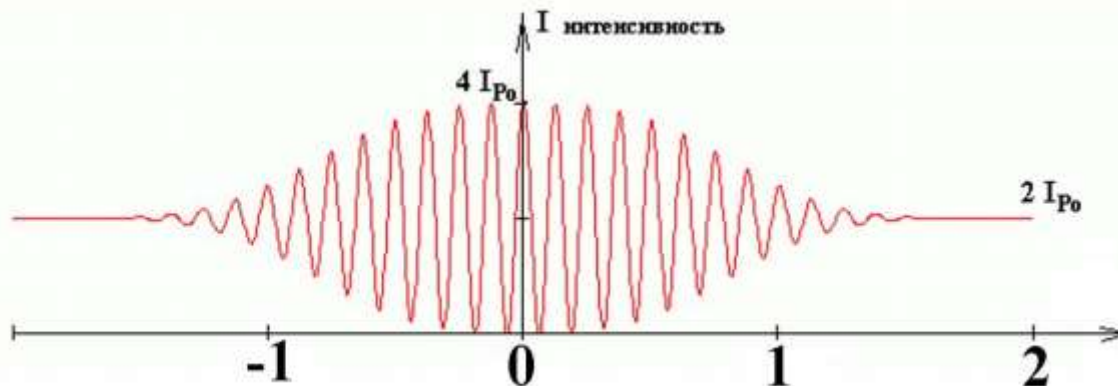
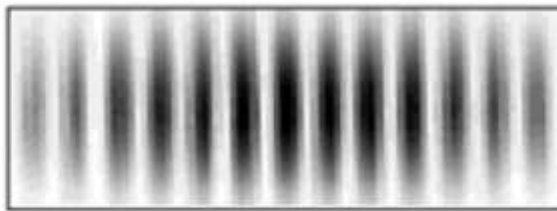
$$V \cong \gamma$$

$$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

Интерференциондық бейненің көрінуі



Реал жағдайларда интерференцияланушы толқындар қатаң когерентті болмайды. Амплитуданы бөлу әдісі* және толқындық фронтты бөлу әдісі* m реттілігі жоғары интерференциялы когерентті толқындар алғанда бейненің көрінуі нашарлайды. Толқындардың когеренттілігінің дәрежесін сипаттайтын параметрді бұл толқындарды қосқанда пайда болатын интерференциондық бейненің көрінуімен анықтауға болады.



$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$